

절연층을 고려한 수중음향 트랜스듀서의 특성변화 고찰 Characteristic Variation of Underwater Acoustic Transducer with Electric Decoupler

서희선*·김정석**·이정민**

Hee-Seon Seo, jung-suk Kim and Jeong-min Lee

Key Words : 수중음향(underwater acoustics), 트랜스듀서(transducer), electric decoupler(절연층)

ABSTRACT

The Tonpiltz transducer is one of the essential elements in sonar application. The characteristics of transducer depend on the piezoelectric ceramics and mechanical elements such as head mass, tail mass, pre-stress rod and so on. One of the important characteristics is stable electric resistance for high power transmitting operation. This paper presents characteristics variation of the underwater acoustic transducer with material variation of electric decoupler.

1. 서론

수중에서 음파를 이용하여 표적을 탐지하거나 식별하기 위한 능동 소나 트랜스듀서로서 압전 소자를 중심으로 양쪽에 금속 재료로 된 전면추와 후면추로 구성된 Tonpiltz 형 진동체가 널리 사용된다⁽¹⁾. Tonpiltz 형 진동체는 길이 방향 진동 모드로 펄스 형태의 음파를 방사하고 목표물로부터 되돌아 오는 반사음을 수신한다. 이러한 Tonpiltz 형 트랜스듀서를 해수로부터 보호하며 음향 전달 손실이 최소화되는 상태로 수중에서 사용하기 위해 해수의 특성 임피던스와 유사한 특성을 갖는 고무 또는 폴리우레탄 재질의 음향 윈도우를 적용하여 사용한다. 그런데 장시간 큰 파워로 송신을 하게 되는 경우에 음향 윈도우를 통한 해수 유입으로 인하여 절연 저항이 감소하여 송신과 관련된 전자부에 문제가 발생하게 된다. 이러한 이유에서 가능한 오랜 시간 동안 안정적으로 절연 저항을 유지할 수 있도록 Tonpiltz 형 트랜스듀서를 설계하고 제작하는 것이 중요하게 된다.

이러한 이유로부터 이 연구는 전기적 절연 특성이 우수한 Tonpiltz 형 트랜스듀서를 설계하기 위한 방안을 확보하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 전면추와 후면추가 전기적으로 절연되는 구조를 갖도록 설계한다. 즉, 압전 세라믹과 전/후면추 사이에 전기적 절연층 역할을 수행할 수 있는 재료를 삽입하고, 그 재료의 특성에 따른 Tonpiltz 형 트랜스듀서의 성능을 평가할 수 있는 특성변화를 고찰하여 적절한 재료를 선정하고자 한다.

2. 기본모델 설계

트랜스듀서의 특성을 해석하는 방법은 각 요소를 집중 파라미터로 가정하고 전기적으로 치환하여 해석하는 등가회로 해석 방법과 유한요소법과 같은 수치 해석 방법을 이용한 방법으로 나누어 연구되고 있다⁽²⁻⁵⁾. 특히 진동체의 단면 방향의 치수가 관심 영역 내의 주파수에 대한 파장에 비해 매우 작은 경우는 길이 방향의 진동은 임의 단면에서의 속도 분포가 균일한 평면파로 가정하고 전달행렬 방법을 이용하여 해석한 후, 음장의 특성은 유한요소법을 이용하여 해석하는 두 가지 해석 방법이 결합된 해석도 시도되고 있다⁽⁶⁾.

이 연구에서는 전면추의 횡 방향 모드가 고려되고, 전응력 볼트와 압전 세라믹에 인가되는 응력의 차가 많이 발생하는 형태의 Tonpiltz 형 트랜스듀서의 수중 거동을 취급하기 위해서 전기-기계-음향이 동시에 연성된 문제를 취급할 수 있는 상용 해석 코드인 ATILA⁽⁷⁾를 이용하여 절연층에 삽입될 재료의 특성에 따른 특성 변화를 고찰하고자 한다. Fig. 1 은 절연층이 고려된 Tonpiltz 형 트랜스 듀서의 모델이다. 이의 해석을 위하여 축대칭 요소를 사용하여 Fig. 2 와 같이 모델링 하였다.

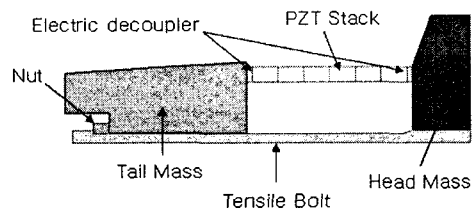


Fig. 1 Configuration of Tonpiltz transducer with electric decoupler.

* 정희원, 국방과학연구소 2 체계 수중음향센서연구실
E-mail: hseo@add.re.kr
Tel: (055) 540-6081, Fax: (055) 542-3737

** 국방과학연구소

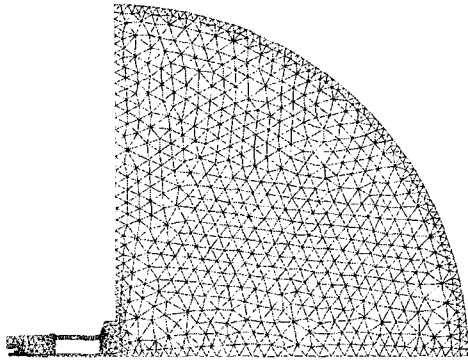


Fig. 2 Finite element model of Tonpiltz transducer with semi-infinite radiation field.

유체의 경우 자유음장 조건을 만족하도록 무반사 경계를 갖는 반 무한 공간이 있는 것으로 가정하였다. 또한, 트랜스듀서의 주파수 특성을 구하기 위해 가진력으로는 압전 세라믹에 단위 전압을 인가하였다.

절연층이 적용되지 않은 시험모델에 대한 해석 및 실험 결과는 본 학회를 통해 발표될 예정이므로 이 연구에서는 상세히 다루지 않았다.

3. 절연층에 따른 특성변화

압전세라믹과 전/후면추 사이에 적용할 전기적 절연층으로는 절연 저항 특성이 우수한 재료인 에폭시 수지 계열 또는 알루미나를 고려할 수 있을 것이다. 이 논문에서는 절연층의 두께를 고정하고 절연층의 특성 임피던스 값이 에폭시에서 알루미나 사이의 값을 갖는 경우에 수치해석 방법을 이용하여 재료의 특성 임피던스가 Tonpiltz 형 압전 트랜스듀서에 미치는 영향을 검토하였다. Fig. 3은 재료의 특성 임피던스가 변하는 경우 Tonpiltz 형 압전 트랜스듀서의 수중 송신 특성을 대표할 수 있는 값인 송신 전압 감도(TVR, Transmitting Voltage Response)를 구하여 표현한 것이다. 특성 임피던스의 증가에 따라 송신 전압 감도의 최대 크기 및 최대 감도가 발생하는 주파수가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이에 대한 상세한 고찰을 위해 특성 임피던스에 따른 최대 송신 전압 감도의 크기와 최대 크기가 발생하는 주파수를 Fig. 4와 Fig. 5에 보였다. 특성 임피던스의 크기가 1.0×10^7 이상 이 되는 경우는 트랜스듀서의 특성이 수렴하는 경향을 보임을 알 수 있다. 이로부터 절연층으로 적용 가능한 재료의 범위를 결정할 수 있을 것이다. 또한 Fig. 6과 Fig. 7에는 트랜스듀서의 송신 밴드

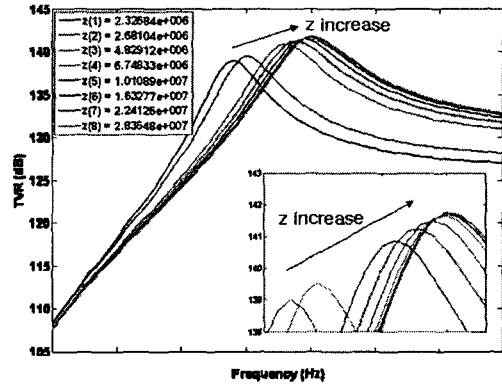


Fig. 3 Transmitting voltage response of the Tonpiltz transducer with characteristic impedance of electric decoupler.

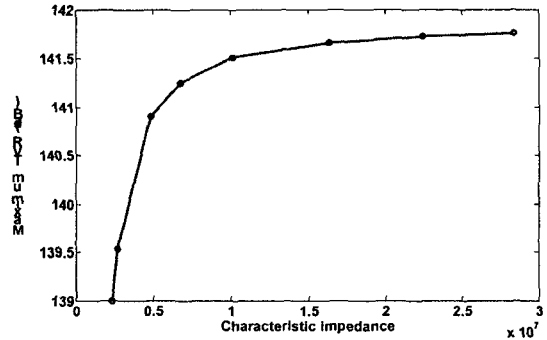


Fig. 4 Maximum TVR of the Tonpiltz transducer with characteristic impedance of electric decoupler.

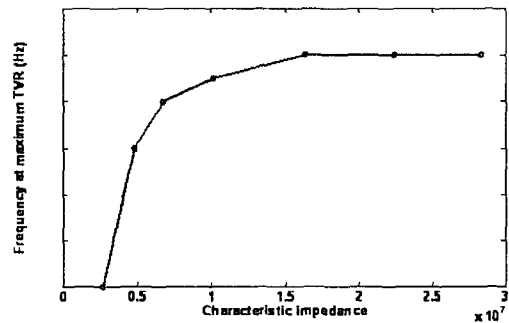


Fig. 5 Frequency at maximum TVR of the Tonpiltz transducer with characteristic impedance of electric decoupler.

폭과 관련 있는 품질 계수(quality factor)와 트랜스듀서의 효율과 관계 있는 결합 계수 (coupling coefficient)를 표현하였다. 광대역(wide band) 송신을 위해 작은 품질 계수를 갖는 트랜스듀서를 설계하는 것이 중요한 요구 조건 중의 하나이며, 좋은 효율을 갖는 트랜스듀서를 제작하기 위해서는 큰 결합계수를 갖는 트랜스듀서를 설계하는 것이

필요하다. 이와 관련하여 수치해석의 결과를 살펴 보면 특성 임피던스의 크기가 1.0×10^7 이상이 되는 경우는 그 특성이 수렴하는 경향을 보임을 알 수 있다. 따라서 절연층으로 사용되기 위한 재료의 특성은 특성 임피던스의 값이 일정한 값 이상인 재료를 사용하여야 한다는 사실을 알 수 있다.

Fig. 8 은 알루미늄을 적용한 트랜스듀서에 대해 최대 송신 감도를 갖는 주파수에서 각 부분에 발생하는 응력과 물에서 발생하는 음압의 분포를 보인 것이다. 절연층 주위에 큰 응력이 발생하는 것을 볼 수 있으며, 송신을 위한 작동의 경우 절연층에 가해지는 응력의 크기는 큰 값이 아니지만 수중 폭발 등의 충격하중이 트랜스듀서에 유입되는 경우는 취성이 큰 알루미늄 재료는 손상 가능성이 높아 충격하중에 대한 신뢰성은 떨어지게 된다. 따라서 충격을 고려한 트랜스듀서의 설계가 필요하게 될 것이며, 이와 관련하여 충격해석 모델에 대한 연구가 진행 중에 있다. 한편, 절연층을 적용한 연구의 결과를 확인하기 위해서 시험 모델을 제작 중에 있으며, 실험 결과와 함께 추후 발표할 예정이다.

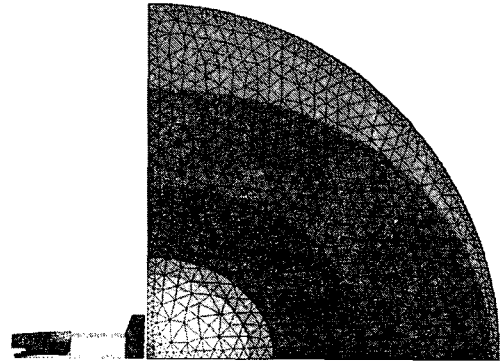


Fig. 8 Contour plot of stress and acoustic pressure fields at longitudinal mode frequency.

4. 결론

절연 특성이 우수한 Tonpiltz 형 트랜스듀서를 설계하기 위해 압전 세라믹과 전/후면추 사이에 전기적 절연층 역할을 수행할 수 있는 재료를 삽입하고, 그 재료의 특성에 따른 트랜스듀서의 특성변화를 수치 해석하여 고찰하였다. 특성 임피던스의 크기가 1.0×10^7 이상이 되는 경우는 Tonpiltz 형 트랜스듀서의 특성을 결정하는 송신 주파수, 송신 감도, 품질 계수, 결합계수 등의 값이 수렴하는 경향을 보이는 것을 보였다. 절연층을 적용한 수치해석 결과를 확인하기 위한 시험 모델의 제작 및 실험 결과는 추후 발표할 예정이다.

참고문헌

- (1) 조치영, 김인수, 윤형규, 1995, "수중 음향 트랜스듀서용 샌드위치형 압전 진동체의 설계," 한국소음진동공학회지, 제 5 권 제 4 호, pp. 577~583.
- (2) 조치영, 서희선, 이정민, 1996, "수중 음향 압전 트랜스듀서의 등가 회로 모델링," 한국음향학회지, 제 15 권 제 4 호, pp. 77~82.
- (3) 조치영, 서희선, 1996, "정합층을 이용한 광대역 압전 진동체 설계," 한국소음진동공학회지, 제 6 권 제 6 호, pp. 749~754.
- (4) D. Church and D. Pincock, 1985, "Predicting the Electrical Equivalent of Piezoceramic Transducers for Small Acoustic Transmitters," IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, Vol. SU-32, No.1, pp61-64.
- (5) Smith, R. R., et. al., 1973, "Finite element analysis of acoustically radiating structures with application to sonar transducers", J. Acoust. Soc. Am., 54(5).
- (6) B. Tocquet and D. Boucher, 1985, "In-air analysis of piezoelectric Tonpiltz transducers in a wide frequency band using a mixed finite element-plane wave method," Journal of Acoustic Society of America, Vol. 78(5), Nov., pp1499-1507.
- (7) ATILA Finite element analysis for piezoelectric and magnetostrictive structures Version 5.2.2 User's Manual, 2003, Institut Supérieur d'Electronique du Nord Acoustics Laboratory.

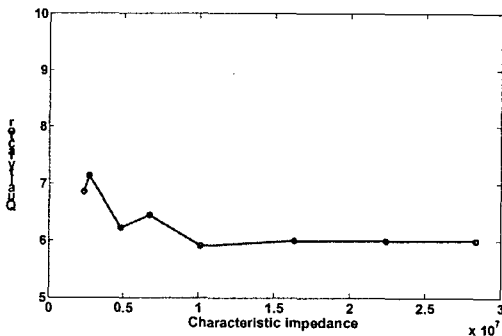


Fig. 6 Quality factor of the Tonpiltz transducer with characteristic impedance of electric decoupler.

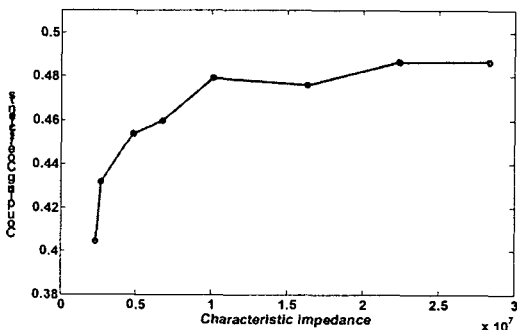


Fig. 7 Coupling coefficient of the Tonpiltz transducer with characteristic impedance of electric decoupler.